Québec

NOTE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 32, 1986

RÉSULTATS QUINQUENNAUX D'UNE FERTILISATION DANS UNE PLANTATION DE PIN GRIS DE L'UNITÉ DE GESTION GRAND-PORTAGE

Gilles Sheedy[1]

O.D.C. 237.4(047.3)(714)
L.C. SD 401. P66

RÉSUMÉ

Les premiers effets de la fertilisation de cette jeune plantation se sont manifestés au niveau des aiguilles (concentration en éléments, longueur et masse plus élevées), puis dans la croissance des arbres. Ces effets de la fertilisation sont cependant fort variables selon les traitements et les secteurs. Ainsi, dans le secteur dit "plateau", le volume total des arbres fertilisés avec les meilleurs traitements (N, NK et NPK) est supérieur à celui des arbres témoins de plus de 35 p. 100 en moyenne, alors que dans le secteur "vallée", ce sont les arbres témoins qui présentent les meilleurs résultats. En moyenne, les arbres fertilisés présentent après cinq ans sensiblement le même volume total, qu'ils soient du secteur "plateau" ou du secteur "vallée", tandis que les arbres témoins du secteur "vallée" sont nettement plus volumineux que ceux du secteur "plateau".

Les résultats actuels montrent que la fertilisation de cette plantation a été aussi efficace, qu'elle soit effectuée par pied d'arbre ou en plein. De plus, l'utilisation de divers types d'engrais n'a pas causé de différences marquées dans les résultats. Dans l'ensemble, l'état de santé des arbres est satisfaisant.

SUMMARY

Preliminary results presented here show that fertilization had marked effects on needles (higher concentrations of elements, larger and heavier needles) and on tree growth. However those effects were very variable in accordance with treatments and sectors. In the upper sector ("plateau"), the total volume of trees fertilized with N, NK and NPK treatments is superior

[1] Ingénieur forestier, chargé de recherches en fertilité et reboisement.

to the control by more than 35 p. 100. But in the lower sector ("valley"), best results were obtained from control trees. Five years after fertilization, fertilized trees of both sector present approximately the same volume. But the volume of control trees in the lower sector is much higher than in the upper one.

The actual results show that whatever the fertilizer applied, tree by tree or over all the plot surface, results are about the same. The utilization of several types of fertilizer did not cause marked differences in the results. The health state of trees is generally good.

INTRODUCTION

Depuis 1975, près d'une soixantaine de dispositifs expérimentaux de fertilisation ont été établis dans diverses plantations du Québec avec la collaboration des unités de gestion concernées. Le but de ce projet était de déterminer les quantités optimums d'éléments à appliquer sur une plantation d'un âge, d'une essence et d'une classe de fertilités donnés. Les résultats obtenus jusqu'à maintenant montrent que la fertilisation a permis de stimuler la croissance des arbres dans plusieurs dispositifs.

Ce rapport présente les résultats quinquennaux de croissance d'une jeune plantation de pin gris.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

- Description de la station

L'étude a été réalisée dans une plantation de pin gris établie en 1975 sur un site scarifié après coupe à blanc. La plantation est située dans le canton de Rouillard à environ 30 km au nord-est de la ville de Dégelis, dans la circonscription électorale de Kamouraska-Témiscouata. Cette région fait partie de la section Témiscouata-Restigouche (L-6) de Rowe (1972).

Selon la Carte de possibilité des terres pour la forêt (Envir. Can., 1968), cette plantation fait partie de la classe de fertilité 4. Il s'agit de terres comportant des limitations modérément graves pour la croissance, dont un excès d'humidité et une faible fertilité.

Les principales caractéristiques de cette plantation sont présentées au tableau 1.

- Dispositifs expérimentaux

Deux dispositifs de fertilisation ont été établis dans cette plantation. Le premier (A) comprend 30 placettes de 10 m^2 (10 m X 10 m), soit deux répétitions de quinze traitements. Le deuxième (B) comprend quant à lui 68 placettes de quatre arbres soit quatre répétitions de 17 traitements. Ce

sont des dispositifs à blocs complets et le choix des traitements de chacune des répétitions s'est fait complètement au hasard.

Il faut noter que pour chacun de ces dispositifs, la moitié des placettes ont été installées sur le plateau (terrain plus sec) alors que le reste l'a été dans la partie basse de la plantation (vallée).

- Traitements de fertilisation

Le tableau 2 présente les traitements de fertilisation qui ont été appliqués dans ces dispositifs. On notera que dans le cas du phosphore, la moitié des placettes "plateau" et "vallée" ont été fertilisées en P avec du triple superphosphate (tsp: 45 p. 100 P_2O_5) alors que les autres placettes fertilisées en P l'ont été avec l'engrais PMF (phosphate de magnésium fusionné, 23 p. 100 P_2O_5 et 19 p. 100 MgO).

Dans le dispositif A (placette de 100 m^2), les engrais ont été appliqués en plein sur toute la surface des placettes à l'aide d'un épandeur portatif de marque **Cyclone**.

Dans le dispositif B (placette de 4 arbres), les engrais ont été appliqués par pied d'arbre sur une surface ayant environ 0,85 m de rayon autour des plants.

- Mesurage et échantillonnage des dispositifs

Un échantillonnage du sol a été réalisé lors de l'établissement des dispositifs expérimentaux en 1978. De plus, des échantillonnages foliaires ont été effectués dans chaque placette (trois échantillons par placette) en septembre 1978, 1979, 1981 et 1983. Tous les échantillons ont été préparés et analysés selon les méthodes courantes du laboratoire (Walsh, 1971). Lors de la préparation des échantillons, une partie des aiguilles a été mesurée (longueur moyenne de 25 aiguilles) et pesée (masse totale sèche de 200 aiguilles) pour chaque placette.

La hauteur et le diamètre (à 1,35 m de hauteur) des arbres du centre de chacune des placettes (neuf arbres dans le dispositif A et quatre dans le B) ont été mesurés en septembre 1978, 1979, 1981 et 1983. La présence de défauts (tiges courbées ou fourchues) et de blessures sur les tiges (causées par la neige, le verglas, les insectes, les maladies, etc...) a été notée lors des mesurages.

Les données mesurées ont été compilées mécaniquement pour déterminer le volume total des arbres et les accroissements quinquennaux en hauteur.

Des analyses statistiques (analyses de variance) complètent ces compilations.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Résultats des analyses du sol

Ces résultats ne sont pas présentés ici, mais signalons que les concentrations en éléments de même que le taux de matière organique des échantillons prélevés dans le secteur "plateau" sont nettement inférieurs à ceux des échantillons du secteur "vallée". Ainsi, les teneurs en P, K, Mg et Ca des échantillons provenant du secteur "plateau" sont inférieures aux standards proposés pour le pin gris (Wilde, 1968) alors que dans le secteur "vallée", seules les teneurs en K et Mg du sol sont inférieures à ces standards. Le pH de ces sols est faible (4,4 secteur plateau et 4,1 secteur vallée) et la texture est un loam sableux (60 p. 100 sable, 25 p. 100 limon et 15 p. 100 argile). En somme, le niveau de fertilité du sol dans le secteur plateau est sensiblement inférieur à celui du secteur vallée, bien que le drainage y soit meilleur.

- Résultats des analyses chimiques des aiguilles

L'examen de ces résultats, au tableau 3, montre qu'il existe beaucoup de variations dans les concentrations des éléments des aiguilles selon les traitements, les années d'échantillonnage et les secteurs échantillonnés (plateau vs vallée).

Ainsi, les concentrations en N, P, K, Mg et Ca des aiguilles de 1979 provenant des arbres fertilisés sont en moyenne supérieures à celles des aiguilles provenant des arbres témoins. Ces effets des engrais se sont dilués très rapidement par la suite et dès 1981, les concentrations foliaires des arbres fertilisés sont comparables à celles des témoins.

Il existe aussi des différences marquées dans les concentrations en éléments des aiguilles provenant des secteurs plateau et vallée. Ainsi, les concentrations foliaires des échantillons provenant du secteur vallée sont généralement supérieures à celles du secteur plateau sauf pour le calcium.

D'autre part et bien qu'il y ait ici aussi des variations, il existe peu de différences entre les résultats des analyses foliaires du dispositif A et ceux du dispositif B.

En comparant les résultats du tableau 3 aux standards proposés par Swan (1969) pour le pin gris, on note que ces aiguilles présentent des déficiences modérées en N et en P. Les concentrations en Mg correspondraient au palier de déficience-suffisance alors que celles en K et Ca seraient suffisantes. Ces résultats ne correspondent pas parfaitement avec ceux des analyses de sols, où l'on a noté des déficiences en K et Mg pour les deux secteurs (plateau et vallée) et des déficiences en P et Ca dans le secteur "plateau". D'ailleurs, en se basant sur les recommandations d'Armson et Sadreika (1974) pour des semis en pépinière (1+0 et 2+0), on constate que les teneurs en K et Mg des aiguilles de cette plantation sont faibles.

La fertilisation a permis d'augmenter les concentrations foliaires en N de 1979 principalement. Les plus fortes augmentations ont été obtenues avec les groupes de traitements NPK et NP. Ces augmentations par rapport au traitement témoin sont de l'ordre de 40 (0,35 p. 100 N) et 37 (0,32 p. 100 N) p. 100 respectivement. Globalement, la teneur en N des aiguilles de 1979 provenant des arbres fertilisés est supérieure à celle des aiguilles témoins de plus de 24 p. 100 (0,26 p. 100 N). Le fait d'appliquer du nitrate d'ammonium (traitement 75-0-0) au lieu de l'urée n'a pas causé de différence appréciable dans les concentrations en N des aiguilles. L'addition d'azote au sol a eu aussi des effets positifs sur les concentrations en P, K, Mg et Ca des aiguilles (tableau 3).

En ce qui concerne le phosphore, les meilleurs résultats pour 1979 ont été obtenus avec les groupes de traitements NPK et NP. Ces derniers ont causé des augmentations dans les concentrations en P des aiguilles par rapport au traitement témoin de l'ordre de 19 (249 ppm) et 16 (205 ppm) p. 100 respectivement. En moyenne, les concentrations en P des aiguilles fertilisées de 1979, 1981 et 1983 sont supérieures à celles des aiguilles témoins, particulièrement pour les traitements comprenant du phosphore (P, NP et NPK). L'application de P sous forme de tsp et de PMF a causé des variations dans les concentrations en P des aiguilles. Ainsi, les aiguilles de 1979 et de 1983 provenant des arbres fertilisés au tsp présentent des concentrations en N, P, K, Mg et Ca supérieures à celles des arbres fertilisés au PMF. Pour 1981 toutefois, les aiguilles provenant des arbres fertilisés au PMF présentent des concentrations en P légèrement plus élevées que celles des arbres fertilisés au tsp. À l'examen des résultats pour le traitement 4 (0-75-0), il semble que l'application du P sous forme de PMF a un effet plus lent sur la concentration en P des aiguilles, mais que cet effet soit plus durable.

Dans le cas du potassium, le tableau 3 montre que les meilleurs résultats ont été obtenus en 1979 avec les groupes de traitements NK et NPK. Par rapport aux témoins, ces derniers ont permis d'accroître les concentrations foliaires en K de l'ordre de 13 (673 ppm) et 10 (531 ppm) p. 100 respectivement. Dans l'ensemble, les concentrations en K des aiguilles (1978, 1981 et 1985) prélevées sur les arbres fertilisés sont supérieures à celles des aiguilles des témoins. C'est particulièrement le cas pour les arbres qui ont été fertilisés en K. Les concentrations en K des aiguilles de ces derniers sont encore supérieures à celles du témoin cinq ans après la fertilisation (traitement 0-0-75). L'utilisation de sulfate de K semble avoir eu plus d'impact sur les concentrations en K des aiguilles de 1979 que celle du chlorure de K et de sulfate de K et de Mg. Cependant, c'est l'inverse qui s'est produit dans le cas des aiguilles de 1981.

Bien que les teneurs en Mg et Ca des aiguilles de 1979 provenant des arbres fertilisés soient en moyenne supérieures à celles des aiguilles d'arbres témoins, l'utilisation de sulfate de potassium et de magnésium ne semble pas avoir eu d'effets additionnels sur les concentrations en Mg des aiguilles (traitement D).

En somme, la fertilisation a eu des effets marqués sur les concentrations en éléments des aiguilles (particulièrement en 1979). Ces effets sont encore plus marqués dans le cas de l'azote. L'utilisation de diverses formes d'engrais ne semble pas avoir causé de différences importantes dans les concentrations en éléments des aiguilles, sauf en ce qui a trait au phosphore; ou encore, l'utilisation de tsp au lieu de PMF a permis d'obtenir des concentrations en P plus élevées.

- Mesures de longueur et de masse des aiguilles

Les résultats qui sont présentés au tableau 4 tout comme ceux des analyses foliaires montrent que la fertilisation a eu surtout des effets sur la longueur et la masse des aiguilles de 1979 (une saison de croissance après la fertilisation). Dans l'ensemble, les meilleurs résultats ont été obtenus avec les groupes de traitements NK et NP. On observe pour ces traitements des augmentations par rapport au témoin de l'ordre de 21 p. 100 (8 mm) sur la longueur et de 51 (1,38 g) et 30 p. 100 (0,81 g) respectivement sur la masse de 200 aiguilles.

D'autre part, la fertilisation en N sous forme de nitrate d'ammonium n'a pas causé de différence marquée dans la longueur et la masse des aiguilles par rapport à l'utilisation de la forme urée. Il en est autrement en ce qui concerne la fertilisation en P. En moyenne, l'utilisation de l'engrais tsp a donné des résultats légèrements meilleurs (concernant la longueur et la masse des aiguilles de 1979) que celle de l'engrais PMF. De même, les fertilisations au sulfate de potassium et de magnésium ont eu en moyenne des effets plus durables que ceux du chlorure de potassium sur la longueur et la masse des aiguilles (tableau 4).

Il existe aussi des variations selon la provenance des échantillons (plateau vs vallée). En moyenne, les aiguilles prélevées dans le secteur "vallée" sont plus longues et plus lourdes que celles provenant du secteur "plateau". Par contre, les différences pour la longueur et la masse des aiguilles témoins sont négligeables d'un dispositif à l'autre (dispositifs A et B). Il existe cependant une légère différence en faveur du dispositif A pour ce qui est des aiguilles provenant des arbres fertilisés (résultats de 1975).

- Résultats des mesures dendrométriques et des observations sur la santé des arbres

Les résultats des mesures de hauteur, de croissance en hauteur, de diamètre et de volume sont présentés aux tableaux 5, 6, 7 et 8. Ces résultats montrent que la fertilisation a eu des effets très variables sur la croissance des arbres. Ainsi, en moyenne, les effets des engrais sont nettement plus marqués sur les arbres du secteur "plateau". Dans ce secteur, le volume des arbres fertilisés est en moyenne supérieur à celui des témoins de plus de 2,55 m^3/ha (19 p. 100). Dans le secteur "vallée", c'est l'inverse qui se produit. Les arbres témoins de ce secteur présentent en effet un volume supérieur à

celui des arbres fertilisés de l'ordre de 6 p. 100 (1,05 m^3/ha). On constate aussi aux tableaux 5, 6 et 7 que cinq ans après la fertilisation, les arbres du secteur "vallée" sont en moyenne plus gros et plus hauts que ceux du secteur "plateau". En fait, les différences de croissance entre les arbres d'un secteur à l'autre sont souvent plus marquées que celles qui existent entre les arbres témoins et les arbres fertilisés.

Les résultats des analyses de variance effectuées pour chaque dispositif font bien ressortir les nombreuses variations qui existent entre la croissance des arbres selon les traitements et les stations. Il existe en effet de nombreuses différences significatives entre les résultats par répétition, par traitement et l'interaction traitement/répétition est, elle aussi, très significative. En fait, il y avait dès le départ des variations très significatives dans la hauteur des plants d'une répétition à l'autre et ces variations de croissance sont encore très fortes après cinq ans. Il n'est donc pas surprenant de constater que l'interaction entre les résultats par traitement et par répétition est souvent significative.

En ce qui concerne le dispositif A (tableau 5) et comme nous l'avons mentionné précédemment, les meilleurs résultats de fertilisation se retrouvent dans le secteur "plateau". Ainsi, les arbres de ce secteur fertilisés en N (traitements 2 et 3) et en NPK (traitements 7, 8, 9, 10, 14 et 15) présentent en moyenne après cinq ans un volume total supérieur à celui des arbres témoins de l'ordre de 4,25 m^3/ha (31 p. 100) et de 3,08 m^3/ha (23 p. 100) respectivement. Dans le secteur "vallée", les meilleurs résultats (en volume total) ont été obtenus avec les traitements K et T. En moyenne, les arbres témoins de ce secteur présentent un volume total supérieur à celui des arbres fertilisés. Il est difficile de s'expliquer ce résultat pour le moment.

Le dispositif B montre sensiblement les mêmes résultats. Dans le secteur "plateau", la fertilisation a stimulé la croissance en hauteur, le diamètre et le volume total des arbres. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les traitements NK et NPK. Ainsi, le volume total des arbres qui ont reçu ces traitements est supérieur à celui des témoins de plus de 6,13 m^3/ha (46 p. 100) et de 5,28 m^3/ha (40 p. 100) respectivement. Dans le secteur "vallée", les résultats pour les arbres fertilisés sont souvent inférieurs à ceux des témoins. Cinq ans après la fertilisation, les arbres fertilisés sont sensiblement de mêmes dimensions quel que soit le secteur. Toutefois, ceux du secteur "plateau" ont une croissance supérieure à celles des arbres témoins alors que c'est l'inverse qui se produit pour ceux du secteur "vallée".

À partir de ces résultats, on note d'une part qu'en ce qui concerne l'azote, ce sont les quantités les plus élevées (100 kg/ha) qui ont le plus favorisé la croissance des arbres. L'utilisation d'azote sous forme de nitrate d'ammonium a eu des effets moins marqués sur la croissance des arbres que celle de l'urée. D'autre part, dans le cas du P, l'utilisation de PHF et du tsp a donné pour les deux dispositifs des résultats comparables, sauf pour les résultats du secteur "vallée" où la forme tsp a donné les meilleurs résultats. La dose de 75 kg/ha de P donne des résultats légèrement supérieurs à celle de 50 kg/ha (disp. A, traitements 9, 10, 14 et 15). Dans le cas du

potassium, les résultats sont tantôt décevants (disp. A, secteur "plateau" et disp. B, secteur "vallée"), tantôt stimulants. Il existe des interactions évidentes pour ces traitements selon les dispositifs et les secteurs. L'utilisation de K sous forme de sulfate de potassium ou de sulfate de potassium et de magnésium semble légèrement plus favorable que celle du KCl.

Globalement et même s'il existe beaucoup de variations dans les résultats, ces derniers sont semblables d'un dispositif à l'autre. En fait, la fertilisation par pied d'arbre a été aussi efficace dans ce cas-ci que la fertilisation en plein. Dans le cas de jeunes plantations comme celles-ci, il semble donc préférable de fertiliser par pied d'arbre.

Pour ce qui est de l'état de santé des arbres, les résultats qui sont présentés aux tableaux 7 et 8 montrent qu'en moyenne, près de 70 p. 100 des arbres sont en parfait état, que le taux de mortalité y est faible (3 p. 100), que près de 20 p. 100 des arbres sont affectés de blessures sur la tige (tête cassée, plusieurs têtes, etc.) et que quelques tiges sont penchées ou tordues (8 p. 100). L'état de santé de cette plantation est donc satisfaisant même s'il existe beaucoup de variations dans les résultats selon les dispositifs, les secteurs et les traitements.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à souligner la précieuse collaboration de M. Conrad Thomassin, tech. f., responsable de l'équipe qui a établi, fertilisé et mesuré ces dispositifs, ainsi que du personnel de l'unité de gestion Grand-Portage qui a collaboré à ce projet.

Des remerciements sincères s'adressent particulièrement à MM. Yvon Richard et Mario Ménard, ingénieurs forestiers, pour leur aide judicieuse dans la compilation mécanographique et l'analyse statistique des données, ainsi qu'au personnel du laboratoire des sols et des tissus qui a procédé à l'analyse des échantillons prélevés pour cette étude.

Je tiens à remercier aussi tous ceux qui ont contribué à la dactylographie, à la correction et à la réalisation de cette note.

RÉFÉRENCES

ANONYME, 1970. **The system of soil classification for Canada.** Min. Agric., Canada, Ottawa, 270 p.

ARMSON, K.A. et V. SADREIKA, 1974. **Forest tree nursery soil management and related practices.** Min. Nat. Ress., Ontario, 177 p.

BERTRAND, V., 1986. **Tarifs de cubage pour les plantations résineuses.** Rapport interne en préparation.

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. **Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud de Québec.** Québec, MER, Serv. de la recherche forestière, Mémoire n° 79, 392 p.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1972. **Possibilités des terres pour la forêt. Carte Edmunston 21 N.** Min. Environ. Can., n° de catalogue En 64/3-21N.

FERLAND, M.G. et R.M. GAGNON, 1967. **Climat du Québec méridional.** Québec, Min. Rich. Nat., Serv. de météorologie, 93 p.

ROWE, J.S., 1972. **Les régions forestières du Canada.** Min. Env., Serv. Can. For., Publ. 1300F, 172 p.

SWAN, H.S.D., 1969. **Relationships beween nutrient supply, growth and nutrient concentrations in the foliage of black spruce and jack pine.** P.P.R.I.C., Woodlands Rep. No. 19, 46 p.

THIBAULT, M, 1985. **Les régions écologiques du Québec méridional, deuxième approximation.** Québec, MER, Serv. de la recherche et Serv. de la cartographie, carte au 1:1 250 000.

WALSH, L.M., 1971. **Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue.** Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin, U.S.A., 222 p.

WILDE, S..A., 1968. **Forests soils, their properties and relation to silviculture.** Ronald Press, N.Y., 537 p.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie
et des Ressources (secteur Forêts)
Direction de la recherche
et du développement

TABLEAU 1

LOCALISATION ET CARACTÉRISTIQUES DÉCRIVANT LES CONDITIONS DE SOL ET DE CLIMAT DE LA PLANTATION ÉTUDIÉE

Localisation:	Canton de Rouillard, rang IX, partie des lots XIV, XV ET XVI	
Latitude nord:	47° 40' 30"	
Longitude Ouest:	68° 28' 00"	
Altitude:	250 m	
Type de sol:	Podzol humo-ferrique	(Anonyme, 1970)
Texture:	Loam sableux	
Dépôt:	Fluvio-glaciaire	(Environnement Canada 1968)
Drainage:	Mauvais	(Environnement Canada 1968)
Température annuelle moyenne:	3,0°C	(Ferland et Gagnon, 1967)
Nombre de jours sans gel:	100	(Ferland et Gagnon, 1967)
Degrés-jours:	1 220-1 440	(Thibault, 1985)
Indice d'aridité:	100-125	(Thibault, 1985)
Précipitations:	102 cm	(Ferland et Gagnon, 1967)
Domaine climacique:	Érablière à bouleau jaune et sapinière à bouleau jaune	(Thibault, 1985)
Plantation:	Printemps 1975, plants à racines nues 3-0, plantation manuelle, espacement 2,13 sur 2,13 m	
Hauteur initiale (1978):	0,72 m	
Qualité de station:	5 m à 15 ans	(Bolghari et Bertrand, 1984)

TABLEAU 2

TRAITEMENTS DE FERTILISATION

Dispositif	Trait. N°	Quantité d'éléments (kg/ha)			Quantité d'engrais par placette (kg)			
		N	P	K	U[1]	tsp[2]	PMF[3]	KCl[4]
A (P.E.P. 100 m^2)	1	témoin						
	2	75	0	0	1,66			
	3	100	0	0	2,22			
	4	0	75	0		3,81		
	5	0	75	0			7,47	
	6	0	0	75				1,47
	7	75	75	75	1,66	3,81		1,47
	8	75	75	75	1,66		7,47	1,47
	9	100	75	75	2,22	3,81		1,47
	10	100	75	75	2,22		7,47	1,47
	11	100	75	0	2,22	3,81		
	12	100	75	0	2,22		7,47	
	13	100	0	75	2,22			1,47
	14	100	50	50	2,22	2,54		1,00
	15	100	50	50	2,22		4,98	1,00

Dispositif	Trait. N°	Quantité d'éléments (kg/ha)			Quantité d'engrais par arbre (g)						
		N	P	K	U	N[5]	tsp	PMF	KCl	KS[6]	KSMg[7]
B (P.E.P. de 4 arbres)	1	témoin									
	16	50	0	0	25						
	2	75	0	0	37						
	17	75	0	0		49					
	3	100	0	0	50						
	4	0	75	0			85				
	5	0	75	0				169			
	6	0	0	75					33		
	18	0	0	75						41	
	19	0	0	75							93
	7	75	75	75	37		85		33		
	8	75	75	75	37			169	33		
	9	100	75	75	50		85		33		
	10	100	75	75	50			169	33		
	11	100	75	0	50		85				
	12	100	75	0	50			169			
	13	100	0	75	50				33		

1 U: Urée (45 p. 100 N)
2 tsp: Triple superphosphate (45 p. 100 P_2O_5)
3 PMF: Phosphate de magnésium fusionné (23 p. 100 P_2O_5 et 19 p. 100 MgO)
4 KCl: Chlorure de potassium (61 p. 100 K_2O)
5 N: Nitrate d'ammonium (33,5 p. 100 N)
6 KS: Sulfate de potassium (50 p. 100 K_2O)
7 KS.Mg: Sulfate de potassium et de magnésium (22 p. 100 K_2O et 18 p. 100 MgO)

TABLEAU 3

CONCENTRATIONS EN N, P, K, MG ET CA DES AIGUILLES DE 1979, 1981 ET 1983

No	Traitements (kg/ha)				Concentrations en éléments[1] (p. 100)													
					N			P			K			Mg			Ca		
		N	P	K	1979	1981	1983	1979	1981	1983	1979	1981	1983	1979	1981	1983	1979	1981	1983
1 T	Témoin				0,87	0,97	1,05	1211	1236	1489	5340	4539	6148	675	734	901	1161	2120	1934
16		50	0	0	1,00	1,00	1,05	1167	1282	1511	4944	4490	5981	653	683	849	1456	1771	1760
2		75	0	0	1,12	0,93	1,07	1255	1257	1520	5482	4824	6426	805	725	876	2207	1875	1853
17	Nitrate	75	0	0	1,06	0,86	1,01	1243	1133	1432	5508	4412	6221	1099	673	918	3463	1816	1805
3		100	0	0	1,31	0,95	1,05	1496	1223	1487	6009	4581	6321	733	733	906	1533	1873	1783
N	Moyenne				1,14	0,94	1,05	1280	1227	1491	5538	4602	6265	812	708	888	2106	1842	1804
4	tsp	0	75	0	0,95	0,93	1,02	1309	1204	1471	5393	4530	6089	1091	754	889	3288	2087	2014
5	PMF	0	75	0	0,86	0,93	1,04	1179	1276	1535	4806	4583	5829	738	801	938	1780	2078	1992
P	Moyenne				0,90	0,93	1,03	1244	1240	1503	5099	4556	5949	914	777	913	2534	2082	2003
6		0	0	75	1,00	0,93	0,99	1290	1220	1460	5594	4673	6415	575	955	831	843	1925	1936
18	KS	0	0	75	1,08	0,96	1,02	1375	1215	1473	5753	4431	6614	1092	654	874	3403	1873	2006
19	KSMg	0	0	75	0,90	1,03	1,03	1159	1292	1475	5338	4817	6610	826	649	848	2175	1804	1929
K	Moyenne				1,00	0,96	1,01	1277	1239	1468	5566	4645	6527	795	781	848	1955	1875	1954
11	tsp	100	75	0	1,20	0,93	1,12	1469	1238	1651	6202	4707	6509	863	678	945	1912	1887	1827
12	PMF	100	75	0	1,18	0,91	1,06	1363	1236	1444	5317	4490	6072	901	730	840	2966	2078	1801
NP	Moyenne				1,19	0,92	1,09	1416	1237	1547	5759	4599	6290	882	704	892	2439	1983	1813
13 NK		100	0	75	1,17	0,87	1,07	1382	1195	1553	6013	4622	6385	764	677	985	1717	1841	1977
7	tsp	75	75	75	1,22	0,91	1,06	1491	1184	1569	6054	4599	6493	836	568	927	1875	1640	1817
8	PMF	75	75	75	0,90	0,93	1,00	1213	1260	1580	5491	4755	6225	747	783	897	1828	2231	1797
9	tsp	100	75	75	1,38	0,91	1,02	1568	1179	1535	6196	4412	5986	1064	728	900	3179	1949	1968
10	PMF	100	75	75	1,12	1,00	0,98	1332	1336	1567	5458	4806	5839	587	750	904	1040	1870	1765
14	tsp	100	50	50	1,93	0,85	1,11	1974	1261	1505	6218	4582	5899	602	650	893	706	2338	2105
15	PMF	100	50	50	1,36	0,86	1,11	887	1196	1812	6383	4805	6834	615	668	782	684	1825	2079
NPK	Moyenne				1,22	0,93	1,04	1460	1232	1555	5871	4656	6169	780	701	897	1797	1942	1873
tsp[2]	Plateau				1,23	0,99	1,09	1430	1254	1730	5765	4783	6693	971	690	992	2889	1811	1798
tsp	Vallée				1,26	0,84	1,02	1567	1140	1375	6197	4394	5780	899	671	835	1952	2036	2045
PMF[3]	Plateau				0,97	0,93	1,03	1266	1257	1370	5329	4718	5713	812	805	849	2423	2184	1979
PMF[3]	Vallée				1,10	0,95	1,06	1337	1284	1690	5377	4620	6399	655	711	923	1197	1927	1735
T	Plateau				0,83	0,92	1,07	1131	1200	1485	4849	4428	6122	664	742	856	1193	2368	1992
T	Vallée				0,91	1,01	1,04	1291	1273	1497	5831	4650	6210	687	728	942	1130	1872	1865
F	Plateau				1,06	0,88	1,04	1386	1226	1485	5589	4662	5951	923	768	873	2839	1870	1961
F	Vallée				1,10	0,93	1,04	1324	1323	1548	5678	4568	6437	703	671	884	1135	1926	1787
T	Dispositif A				0,79	0,92	1,03	1280	1223	1601	5600	4395	5941	599	728	895	77*	1989	1849
T	Dispositif B				0,91	0,99	1,06	1200	1270	1492	5200	4617	5660	713	721	906	1 5?	2185	1971
F	Dispositif A				1,34	0,89	1,07	1600	1262	1588	6200	4762	6309	693	759	890	1197	1965	1843
F	Dispositif B				1,03	0,94	1,08	1200	1217	1476	5400	4590	6323	857	670	881	2435	1869	1865

[1] Pour 1978 (avant fertilisation) Plateau: 1,27 N, 0,13 P, 0,58 K, 0,08 Mg et 0,14 Ca
Concentration en p. 100 Vallée: 1,38 N, 0,15 P, 0,53 K, 0,08 Mg et 0,13 Ca
Pour la majorité des traitements, ces résultats sont des moyennes pour 10 échantillons
[2] Moyenne pour les traitements, 4, 7, 9, 11, 14
[3] Moyenne pour les traitements, 5, 8, 10, 12, 15

TABLEAU 4

MESURES DE LONGUEUR ET DE MASSE DES AIGUILLES DE 1978, 1979, 1981 ET 1983; DISPOSITIFS A ET B

Traitement (kg/ha) N°			N	P	K	Longueur (mm)[1] 1978	1979	1981	1983	Masse (g)[2] 1978	1979	1981	1983
1	T	Témoin				54	38	29	30	4,11	2,70	1,97	1,75
16			50	0	0	54	41	28	29	4,11	3,18	1,97	1,66
2			75	0	0	54	45	30	32	4,11	3,39	2,14	1,95
17		Ni-	75	0	0	54	43	29	30	4,11	3,47	1,96	1,88
3		trate	100	0	0	54	46	31	31	4,11	3,65	2,05	1,86
	N	Moyenne				54	44	29	30	4,11	3,42	2,03	1,82
4		tsp	0	75	0	54	40	29	28	4,11	2,83	1,73	1,56
5		PMF	0	75	0	54	39	31	28	4,11	2,75	2,10	1,54
	P	Moyenne				54	40	30	28	4,11	2,79	1,95	1,55
6		KCl	0	0	75	54	40	28	29	4,11	2,96	1,94	1,65
18		KS	0	0	75	54	41	32	30	4,11	2,93	2,27	1,73
19		KSMg	0	0	75	54	40	31	31	4,11	2,93	2,10	1,92
	K	Moyenne				54	40	30	30	4,11	2,94	2,10	1,77
11		tsp	100	75	0	54	43	24	32	4,11	3,33	1,38	1,75
12		PMF	100	75	0	54	49	29	29	4,11	3,70	2,19	1,65
	NP	Moyenne				54	46	26	30	4,11	3,51	1,78	1,70
13	NK		100	0	75	54	46	29	29	4,11	4,08	1,97	1,73
7		tsp	75	75	75	54	45	29	30	4,11	3,48	1,89	1,83
8		PMF	75	75	75	54	41	31	30	4,11	3,00	2,16	1,73
9		tsp	100	75	75	54	45	28	29	4,11	3,57	1,69	1,64
10		PMF	100	75	75	54	42	31	27	4,11	3,15	2,27	1,58
14		tsp	100	50	50	54	45	27	30	4,11	3,72	1,66	1,60
15		PMF	100	50	50	54	44	34	30	4,11	3,52	2,48	1,80
	NPK	Moyenne				54	44	30	30	4,11	3,36	2,02	1,70
	tsp	Moyenne				54	44	27	30	4,11	3,33	1,67	1,75
	PMF	Moyenne				54	43	31	29	4,11	3,18	2,20	1,74
	T	Plateau				54	38	30	31	4,07	2,48	2,02	1,69
	T	Vallée				54	39	29	30	4,14	2,91	1,97	1,87
	F	Plateau				54	43	28	29	4,07	3,19	1,98	1,68
	F	Vallée				54	44	30	30	4,14	3,62	2,04	1,75
	T	Disp. A				54	38	28	29	4,11	2,70	1,90	1,63
	T	Disp. B				54	39	31	31	4,11	2,70	2,05	1,86
	F	Disp. A				54	46	29	29	4,11	3,70	2,04	1,71
	F	Disp. B				54	42	29	30	4,11	3,11	1,97	1,76

1 Longueur moyenne de 150 aiguilles
2 Masse totale de 200 aiguilles, moyenne pour 6 placettes

TABLEAU 5

RÉSULTATS DES MESURES DENDROMÉTRIQUES PAR TRAITEMENT ET PAR SECTEUR, AINSI QUE DES ANALYSES STATISTIQUES: DISPOSITIF A

Traitements (kg/ha)				N[1]	Hauteur initiale (1977) (m)		Croissance en hauteur (H1983-H1977) (m)		Diamètre (cm) 1983		Volume total (m^3/ha) 1983	
N°	N	P	K		Plateau	Vallée	Plateau	Vallée	Plateau	Vallée	Plateau	Vallée
1	Témoin (T)			9	0,68	0,68	2,92	3,43	4,9	6,0	13,60	18,59
2	75	0	0		0,80	0,54	3,02	3,27	5,5	5,8	16,46	18,30
3	100	0	0		0,66	0,58	3,12	3,18	6,3	6,2	19,24	18,67
	N (moyenne)			16	0,73	0,56	3,07	3,22	5,9	6,0	17,85	18,48
4	0	75	0		0,64	0,60	2,96	2,93	4,8	5,4	13,91	15,94
5	0	75	0		0,83	0,90	2,86	3,27	4,8	5,7	14,11	16,54
	P (moyenne)			18	0,73	0,75	2,91	3,10	4,8	5,5	14,01	16,24
6	0	0	75	9	0,71	0,70	2,65	3,30	4,6	6,4	12,94	20,20
11	100	75	0		0,63	0,63	2,77	3,20	4,6	6,1	12,22	19,69
12	100	75	0		0,72	0,83	3,06	2,83	5,4	4,5	16,07	13,47
	NP (moyenne)			15	0,67	0,73	2,91	3,01	5,0	5,3	14,14	16,68
13	100	0	75	9	0,71	0,62	2,23	2,93	3,6	5,7	9,51	16,17
7	75	75	75		0,63	0,64	2,81	3,11	5,5	6,2	15,26	18,83
8	75	75	75		0,77	0,83	2,92	3,34	5,5	5,8	15,31	17,78
9	100	75	75		0,81	0,67	3,36	3,17	6,1	6,4	18,82	20,74
10	100	75	75		0,77	0,93	2,67	2,80	5,6	5,4	16,03	15,32
14	100	50	50		0,75	0,66	3,30	3,14	5,7	6,1	18,19	18,79
15	100	50	50		0,76	0,82	2,92	2,77	5,6	5,1	16,49	14,08
	NPK (moyenne)			51	0,75	0,76	3,00	3,06	5,7	5,8	16,68	17,59
	tsp (moyenne)			42	0,69	0,64	3,04	3,11	5,3	6,0	15,68	18,84
	PNF (moyenne)			42	0,77	0,86	2,89	3,01	5,4	5,3	15,60	15,44
Résultats des analyses statistiques												
Valeur de F	Répétitions				18,59**		10,87**		15,46**		15,31**	
	Traitements				1,78		2,12**		2,24**		2,21**	
	Interaction				1,36		1,67		2,08*		1,87*	

[1] N: Nombre d'observations

* Différence significative au seuil de probabilité de 95 p. 100.

** Différence significative au seuil de probabilité de 99 p. 100.

TABLEAU 8

RÉSULTATS DES MESURES DENDROMÉTRIQUES PAR TRAITEMENT ET PAR SECTEUR, AINSI QUE DES ANALYSES STATISTIQUES: DISPOSITIF B

Traitements (kg/ha)				N[1]	Hauteur initiale (1977) (m)		Croissance en hauteur (H1983-H1977) (m)		Diamètre (cm) 1983		Volume total (m^3/ha) 1983	
N°	N	P	K		Plateau	Vallée	Plateau	Vallée	Plateau	Vallée	Plateau	Vallée
1	Témoin (T)			8	0,69	0,78	2,86	3,30	4,7	5,7	13,27	18,27
16	50	0	0	8	0,68	0,69	2,95	3,36	4,7	5,8	12,92	17,74
2	75	0	0	7	0,75	0,68	2,91	3,27	5,9	6,0	17,25	18,27
17	75	0	0	6	0,74	0,72	2,94	2,71	4,7	5,4	13,03	16,20
3	100	0	0	8	0,81	0,73	3,03	3,41	6,3	6,5	18,93	21,47
	N (moyenne)			29	0,75	0,71	2,96	3,19	5,4	5,9	15,52	18,42
4	0	75	0	8	0,68	0,57	3,07	3,01	5,0	5,7	14,68	16,65
5	0	75	0	7	0,79	0,79	2,98	2,65	5,2	4,2	14,89	11,75
	P (moyenne)			15	0,74	0,68	3,02	2,83	5,1	5,0	14,75	14,20
6	0	0	75	7	0,72	0,80	3,02	3,12	5,4	5,5	15,45	18,76
18	0	0	75	7	0,76	0,64	----	3,69	---	5,5	-----	19,96
19	0	0	75	7	0,72	0,72	3,14	3,14	5,9	5,6	17,51	16,65
	K (moyenne)			21	0,74	0,69	3,08	3,32	5,6	5,5	16,47	17,80
11	100	75	0	6	0,72	0,68	3,19	3,28	5,4	5,8	15,89	18,81
12	100	75	0	7	0,72	0,81	2,98	3,22	5,4	5,6	15,56	16,78
	NP (moyenne)			13	0,72	0,75	3,09	3,25	5,4	5,7	15,72	17,80
13	100	0	75	8	0,73	0,68	3,34	2,91	5,9	5,3	19,40	15,35
7	75	75	75	7	0,71	0,66	3,46	2,98	5,9	5,5	18,29	17,45
8	75	75	75	8	0,86	0,85	2,90	2,67	5,8	5,4	17,14	15,24
9	100	75	75	8	0,71	0,78	3,22	3,02	6,1	5,0	18,77	14,03
10	100	75	75	8	0,80	0,63	3,42	2,95	6,2	5,1	19,98	14,90
	NPK (moyenne)			31	0,77	0,73	3,25	2,96	6,0	5,3	18,55	15,40
	tsp (moyenne)			29	0,70	0,67	3,23	3,07	5,6	5,5	16,89	16,73
	PKF (moyenne)			30	0,79	0,77	3,07	2,92	5,7	5,1	16,89	14,67
Résultats des analyses statistiques												
Valeur de F	Répétitions				3,41**		2,87*		6,23**		2,60	
	Traitements				0,42		2,44**		10,39**		2,34**	
	Interaction				2,01**		2,44**		4,95**		2,73**	

[1] N: Nombre d'observations
* Différence significative au seuil de probabilité de 95 p. 100.
** Différence significative au seuil de probabilité de 99 p. 100.

TABLEAU 7

VOLUME TOTAL ET ÉTAT DE SANTÉ DES ARBRES PAR SECTEUR ET PAR RÉPÉTITION

Dispositif	Secteur	Volume total (m^3/ha) Répétitions 1	2	État de santé en p. 100* S	M	B	F
A	Plateau	15,21	---	65	3	22	10
	Vallée	17,55	---	60	2	24	14
B	Plateau	16,43	16,43	73	6	15	6
	Vallée	17,83	15,82	74	5	16	5

* S: en santé; M: mort; B: blessé; F: fourchu

TABLEAU 8

VOLUME TOTAL ET ÉTAT DE SANTÉ PAR GROUPE DE TRAITEMENTS; DISPOSITIFS A ET B

Groupe de traitements	Volume total (m^3/ha) Accroissement en p. 100 p/r à T Plateau		Vallée		État de santé[1] (p. 100) S	M	B	F
	m^3/ha	p. 100	m^3/ha	p. 100				
Témoin	13,43	----	18,16	----	71	6	15	8
N (2, 3, 16, 17)	16,30	+ 21	18,44	+ 1	69	5	18	8
P (4, 5)	14,38	+ 7	15,22	- 16	76	3	11	10
K (6, 18, 19)	15,30	+ 14	18,39	+ 1	73	5	17	5
NP (11, 12)	14,93	+ 11	17,24	- 5	72	2	26	0
NK (13)	14,45	+ 7	15,76	- 13	56	3	25	16
NPK (7, 8, 9, 10, 14, 15)	17,42	+ 30	16,71	- 8	66	3	23	8
tsp (4, 7, 9, 11, 14)	16,28	+ 21	17,78	- 2	66	5	15	14
PMF (5, 8, 10, 12, 15)	16,24	+ 21	15,05	- 17	69	3	21	7
$V_1P_7K_7$	18,40	+ 37	16,25	- 10	64	4	23	9
V_1	19,08	+ 42	20,07	+ 10	66	3	22	9
Moyenne fertili.	15,98	+ 19	17,11	- 6	69	3	20	8

[1] S: en santé; M: mort; B: blessé; F: fourchu